

doi:10.7515/JEE201604008

上海春季大气 PM₁ 分布特征

高伟，毛晓琴

(长三角环境气象预报预警中心, 上海市气象局, 上海 200135)

摘要: 利用 2015 年春季(3 月—5 月)上海地区 9 个大气成分站在线观测获得的地面 PM₁ 质量浓度数据, 研究该地区 PM₁ 浓度时空分布特征。结果表明, 上海地区各站 PM₁ 污染浓度水平总体较高, 整个上海地区的 PM₁ 小时平均浓度为 $26.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 最大值为 $126.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 最小值为 $2.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 各站 PM₁ 浓度的日变化分布表现为峰值类型和峰值时间不一; 各站 PM₁ 三个主要粒径段的质量浓度比值均有一定的差异, 其中东滩 PM₁ 比例最大, 宝山最小; 上海春季 PM₁ 的浓度逆周末效应, 可能是由于春季气象条件周期性影响。

关键词: PM₁; 上海地区; 日变化; 粒径段; 逆周末效应

Distribution characteristics of atmospheric PM₁ in spring at Shanghai

GAO Wei, MAO Xiaoqin

(Yangtze River Delta Center for Environmental Meteorological Prediction and Warning,
Shanghai Meteorological Service, Shanghai 200135, China)

Abstract: Background, aim, and scope Atmospheric particulate matter seriously affect China's air quality. As a large city of Shanghai, with the rapid development since the reform and opening, the increase of various human activities lead to the huge consumption of energy and fossil fuels, also makes the urban environment quality, especially the air quality will worsen which appeared a series of atmospheric pollution problems. Previous studies have focused on the TSP, PM₁₀ and PM_{2.5}, etc., for the pollution level of PM₁ research is less. Therefore, analysis of the characteristics of sub-micron particles PM₁ concentration in Shanghai is of great significance for research and control of atmospheric pollution.

Materials and methods The spatial and temporal distribution characteristics of PM₁ concentration in the area were studied by using the ground PM₁ mass concentration data obtained from 9 atmospheric composition stations in Shanghai area during spring (March, 2015). We analyzed the concentration distribution and daily variation and weekend effect of PM₁ in spring at Shanghai. **Results** The result shows that the average hourly concentration of PM₁ in Shanghai area is $26.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, the maximum value is $126.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, the minimum value is $2.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. The maximum average hourly concentration of PM₁ is occurred in Baoshan Station, about $164.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, and minimum value is occurred in Dongtan Station, about $0.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. The PM₁ average concentration of each site from high to low is Xujiahui, Baoshan, Shenshan, Pudong, Chongming, Jinshan, Xiaoyangshan, Lingang and Dongtan. The largest fluctuation of PM₁ concentration is occurred in Baoshan, and the least is occurred in Xiaoyangshan. The

收稿日期: 2016-01-15; 录用日期: 2016-04-27

Received Date: 2016-01-15; **Accepted Date:** 2016-04-27

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0201903)

Foundation Item: National Key Research and Development Plan(2016YFC0201903)

通信作者: 毛晓琴, E-mail: mxq37@163.com

Corresponding Author: MAO Xiaoqin, E-mail: mxq37@163.com

daily variation of PM_{l} concentration in each station showed diurnal variation law peak type and peak time. The daily average of PM_{l} in Xuhui and Pudong presents obvious bimodal curve. The first peak is occurred in 7:00 am to 10:00 am, and the second peak is occurred in 18:00 pm. The second peak is lower than the first peak. The daily average of PM_{l} in Baoshan present not obvious bimodal curve. The peak is occurred in 6:00 am and 18:00 pm. The PM_{l} daily average of Shenshan, Jinshan and Lingang stations present weak bimodal curve. There are two peaks during 8:00 am to 14:00 pm. The daily average of Dongtan and Chongming is present unimodal distribution, the peak respectively occurred in 9:00 am and 7:00 am. There were some differences in the mass concentration ratios of the three main grain sizes of PM_{l} in each station, the Dongtan Station PM_{l} ratio was the largest, Baoshan minimum. Shanghai spring PM_{l} concentrations reverse weekend benefits. **Discussion** The diurnal variation of PM_{l} in spring at Shanghai urban is mainly due to vehicle emissions in the rush hour, while in suburbs is due to pollutant transport. Shanghai spring PM_{l} concentrations reverse weekend benefits, may be due to cyclical impact of spring weather conditions. **Conclusions** The results show that the overall level of PM_{l} pollution in Shanghai area is higher, the average concentration of PM_{l} in Shanghai area is $26.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, the maximum value is $126.4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, the minimum value is $2.4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; the daily variation of PM_{l} concentration in each station showed diurnal variation law peak type and peak time. There were some differences in the mass concentration ratios of the three main grain sizes of PM_{l} in each station, the Dongtan Station PM_{l} ratio was the largest, Baoshan minimum. Shanghai spring PM_{l} concentrations reverse weekend benefits, may be due to cyclical impact of spring weather conditions. **Recommendations and perspectives** The search provide a significant scientific basis in to understand the spatial and temporal distribution characteristics of PM_{l} concentration in spring at Shanghai.

Key words: PM_{l} ; Shanghai region; daily variation; particle size; reverse weekend effect

大气颗粒物是影响中国空气质量的首要污染物之一，由于对居民的健康、大气能见度和气候等方面有着重要的影响，近年来受到国内外学者的广泛关注。研究表明，大气可吸入颗粒物可以通过呼吸作用，进入人体，对呼吸系统和心血管系统有较大的危害（赵辰航等，2015）；大气颗粒物的消光作用降低了能见度，影响了交通和城市景观等。此外，悬浮的大气颗粒物影响区域大气辐射平衡（张芷言等，2014）。近年来，大气环境 $\text{PM}_{2.5}$ 关注和研究较多，而国内对于大气亚微米级颗粒物 PM_{l} 的观测研究相对较少。

大气气溶胶粒子中，硫酸盐、硝酸盐、氨盐以及有机物气溶胶中的二次气溶胶粒子是由气体转化形成的二次气溶胶粒子。黑碳、一次性排放到大气中的有机物粒子、矿物气溶胶和海盐均为直接从源地排放到大气中的一次气溶胶粒子组分。二次气溶胶以及经燃烧直接排放的一次粒子（如黑碳和一次性排放的有机物粒子，其直径通常小于 $1 \mu\text{m}$ ，即它们主要集中于 PM_{l} 上，也有少量矿物气溶胶粒子其粒径小于 $1 \mu\text{m}$ ）。由此可知，对

$\text{PM}_{2.5}$ 的控制，关键是减少 PM_{l} 中各种气溶胶组成的排放与转化，认识 PM_{l} 中各种化学组成及其来源是控制大气细气溶胶污染的基础。

上海是长江三角洲地区典型的超大型城市，随着改革开放以来的高速发展，各种人为活动的增加导致对能源和石化燃料的巨大消耗，也使得城市环境质量尤其是空气质量加剧恶化，出现了一系列的大气污染问题。前期的研究主要集中在 TSP、 PM_{10} 及 $\text{PM}_{2.5}$ 等方面（邓雪娇，2011；韩茜等，2013；孙南，2013），而对于 PM_{l} 的污染水平研究较少。因此，分析上海市大气亚微米级颗粒物 PM_{l} 的浓度水平特征对于研究和控制地区大气污染具有十分重要的意义。

本文利用 2015 年春季（3—5 月）上海地区 9 个大气成分站在线观测获得的 PM_{l} 质量浓度数据，揭示该地区春季 PM_{l} 的时空分布特征。

1 研究数据与方法

1.1 观测站点

上海市气象局大气成分 PM_{l} 观测网，观测站点

按照不同区域特征分布在上海市气象局(徐汇区)、浦东新区气象局、宝山气象局、金山气象局、崇明气象局、东滩湿地、佘山天文台、小洋山气象站和临港9个站点(图1)。观测站按照不同功能区域、下垫面类型以及空间代表性进行规划设置,徐汇站位于上海市中心城区西南方,是大型商业居住混合区,且与沪闵高架和内环高架不远,也是城市重要

的交通枢纽之一;浦东站位于大型绿地、办公居住混合区;宝山站和金山站分别处于钢铁工业区和石油化工区;崇明站则属于绿化覆盖率非常高的生态岛区域;东滩站在大型湿地自然保护区,远离市区且受人类活动影响较小;佘山天文台站属于西部污染物输送区,位于上海最高峰佘山之上;小洋山站位于大型海洋港口区;临港站为海边综合社区。



图1 上海区域大气成分观测网站点分布示意图
Fig.1 Sketch distribution of atmospheric composition observation stations in Shanghai area

1.2 观测仪器与数据

东滩站选用激光散射原理的观测设备,型号为GRIMM180,其余站点选用 β 射线浊度法原理的观测设备,型号为SHARP5030。

数据质量控制与处理按《环境空气质量自动监测技术规范(HJ/T193—2005)》执行。

2 结果与讨论

2.1 上海地区各站点PM₁浓度统计

由表1可知,9个站点整体数据统计完整率为96%,各个站点PM₁小时平均浓度数据统计完整性均超过91%,其中东滩站和临港站数据完整性相对较低,主要是由于仪器维护、断电、仪器

校准、数据质量控制、剔除异常数据等原因造成的。上海地区的PM₁小时平均浓度为 $26.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,最大值为 $126.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,最小值为 $2.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。单站点PM₁小时平均浓度最大值出现在宝山站,为 $164.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;单站点PM₁小时平均浓度最低值出现在东滩站,为 $0.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。各站点小时平均浓度数值由大到小排序依次为徐家汇、宝山、佘山、浦东、崇明、金山、小洋山、临港和东滩。从标准差来看,宝山PM₁质量浓度波动最大,小洋山波动最小。根据张晓勇等(2012)关于背景值的概念,出现频率最高的浓度值(中间值)为地区环境大气背景值。各站点地区背景值由大到小排序依次为徐家汇、佘山、宝山、浦东、崇明、金山、小洋山、临港和东滩。

表 1 上海地区 9 站点 PM_1 小时平均浓度特征统计
Tab.1 PM_1 hourly average concentration of 9 stations in Shanghai area

站点 Station	有效样本 Valid sample	数据完整性 Data integrity rate / %	平均值 Mean / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	标准偏差 Standard deviation / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	最小值 Minimum / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	中间值 Median / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	最大值 Maximum / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
BS	2036	92.2	30.9	21	2.9	25.4	164.8
DT	2019	91.4	21.9	18.5	0.9	15.4	108.9
CM	2178	98.6	25.7	18.8	1.9	19.9	126.2
XJH	2169	98.2	32.2	19.5	1.7	27.2	147.8
PD	2189	99.1	25.8	15.5	4.0	21.1	94.9
JS	2139	96.9	25.2	15.9	2.8	20.6	113.6
SS	2181	98.8	29.6	19.2	1.5	25.9	144.2
LG	2009	91.0	22.1	15.2	2.4	17.6	126.2
XYS	2156	97.6	23.5	14.5	3.2	19.2	110.8
SH	2120	96.0	26.3	17.6	2.4	21.4	126.4

注: 以上站点自上而下依次代表宝山、东滩、崇明、徐家汇、浦东、金山、余山、临港、小洋山, SH 代表以上 9 站点统计平均。

Note: the station from top to bottom on behalf of Baoshan, Dongtan, Chongming, Xujiahui, Pudong, Jinshan, Sheshan, Lingang, (same below), and SH means the average of 9 stations.

图 2 为日均浓度 Box-chart 图, 上海地区各站 PM_1 污染浓度水平总体较高。因国际上还未制定 PM_1 浓度健康标准, 以 2005 年世卫组织 $\text{PM}_{2.5}$ 国际标准 ($24 \text{ h} < 25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 为准则值, 宝山、徐家汇、余山三个站点仅 PM_1 浓度 24 小时均值就明显超过世卫组织 $\text{PM}_{2.5}$ 国际标准。

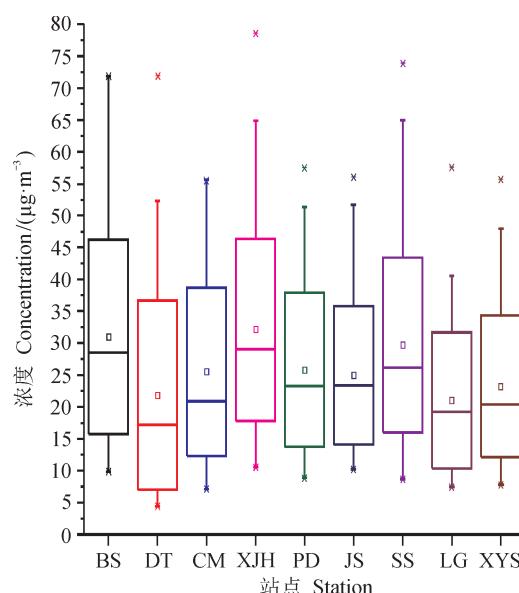


图 2 PM_1 日均浓度 Box-chart 图
Fig.2 PM_1 daily concentration of Box-chart chart

2.2 PM_1 小时浓度日变化特征

如图 3 所示, 上海地区 9 个站点的日变化规律峰值类型和峰值时间不一。徐家汇、浦东为市区两个站点, PM_1 日变化曲线呈现明显的双峰型分布, 在上午 7—10 时出现第一个峰值, 在下午的 18 时左右出现第二个峰值, 第二个峰值浓度相对低于第一个峰值。第一、第二个峰值时间段正好对应上下班高峰期, 汽车尾气的排放会导致大气污染物浓度的上升, 这也说明交通污染源的直接排放是 PM_1 的重要来源。宝山站为不明显双峰型, 下午和夜间变化趋势平缓, 6 时和 18 时左右为峰值, 可解释为附近片区交通等人类活动影响。18 时以后出现高值平缓浓度曲线, 主要是由于宝山地处长江边缘, 受到海陆风影响(胡艳和李青青, 2010), 陆风将污染物由市中心方向输送到宝山站, 使宝山保持傍晚至夜间相对高浓度。余山、金山、临港站表现为弱双峰型, 特征为 8—14 时出现 2 个峰值, 可能原因是不同站点受到市区或者污染带的输送, 站点浓度在 8 时左右有一个峰值, 随后浓度下降是由于混合层高度的增加, 提高大气污染物扩散能力; 但中午时间段, 随着光化学反应增强, 二次反应生成新的气溶胶 PM_1 产物增加, 浓度又有所上升。东滩为单峰型, 9 时为峰值时间。东滩站周围无任何直接排放污染源, 受到污染物

远程传输影响, 夜间22—23时浓度小幅抬升可能是由于海陆风将海上的污染物输送到该站点。崇明为明显的单峰型特征, 7时出现峰值。因崇明站

为生态岛, 基本只有农业生产活动, 工业和交通量极少, 所以没有出现不同于城市的工业或交通活动所表现的明显双峰型或弱双峰型特点。

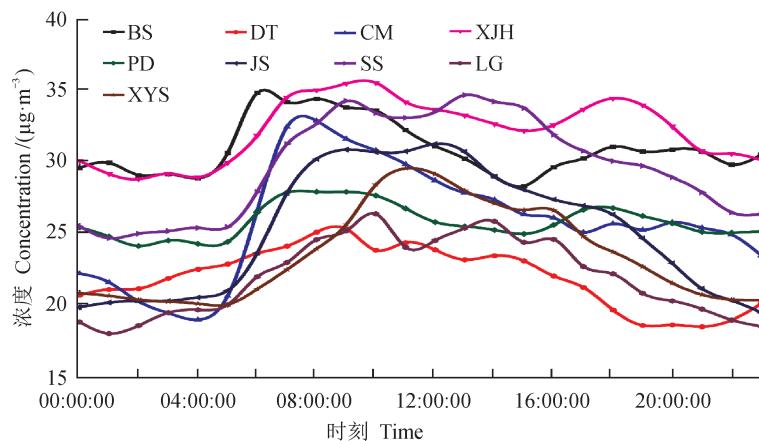


图3 PM₁小时浓度日变化曲线
Fig.3 PM₁ hourly concentration diurnal variation curve

2.3 PM₁₀主要粒径段质量比

因9个站点同时具有PM_{2.5}和PM₁₀观测, 本文统计了PM₁₀三个主要粒径段(1 μm, 1—2.5 μm, 2.5—10 μm)的质量浓度百分比值。从表2看出, 各站均有一定的差异, 其中东滩最大, 宝山最小。与其他城市观测事实比较, PM₁₀主要粒径段质量比具有一定的差异。其中, 东滩的PM₁最明显, 主要是二次污染物的影响所致, 造成这些差异的原因与地区污染物来源有关。

2.4 周末效应特征

近年来细粒子污染一直是人们关注的焦点, 其周内变化规律也被其他学者(Motallebi et al., 2003; Lough et al., 2006; 雷瑜等, 2015)发现。Jones et al (2008)在城市背景下颗粒物质量浓度的监测结果中总结出, 细粒子浓度在工作日明显高于

周末; 上海市区的黑炭气溶胶粒子也表现出相似的现象(肖秀珠等, 2011)。图4所示则与以上结论完全相反, 各站PM₁浓度周末明显高于工作日, 本文称之为逆周末效应。已有研究指出, 部分城市气象站观测到的气象要素存在不同程度的周循环变化特征, 气温(Forster and Salomon, 2003; 段春峰等, 2012)、降水频次(龚道溢等, 2006)等都出现7 d周期的显著周循环特征, 空气污染指数与气象要素的“周末效应”也具有较好的相关性(章志芹等, 2008)。污染物在大气中的浓度, 除了取决于排放的总量外, 气象条件是重要的因素之一。这与张小玲等(2008)观测的北京地区的秋季现象一致。而本文中上海春季PM₁浓度出现的周末浓度高, 工作日浓度低的现象, 称之为逆周末效应, 分析其原因可能是由于春季气象条件周期性影响。今后, 将进一步用天气分型方法来研究分析具体原因。

表2 PM₁₀主要粒径段质量比
Tab.2 PM₁₀ main particle size segment mass ratio

PM	BS	DT	CM	XJH	PD	JS	SS	LG	XYS
PM ₁	37.0%	86.7%	43.8%	44.7%	43.5%	43.0%	45.1%	44.5%	48.4%
PM _{1—2.5}	17.7%	3.3%	20.8%	18.0%	17.2%	16.4%	23.1%	31.6%	14.5%
PM _{2.5—10}	45.3%	10.0%	35.4%	37.2%	39.3%	40.6%	31.9%	23.9%	37.1%

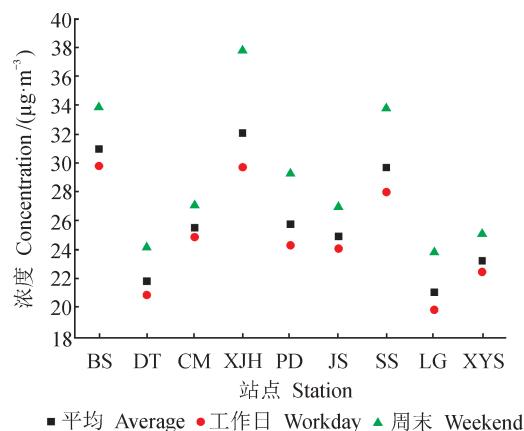


图 4 逆周末效应图
Fig.4 Inverse weekend effect chart

3 结论

上海地区各站 PM₁ 污染浓度水平总体较高，整个上海地区的 PM₁ 小时平均浓度为 26.3 μg·m⁻³，最大值为 126.4 μg·m⁻³，最小值为 2.4 μg·m⁻³；各站点小时平均浓度数值由大到小排序依次为徐家汇、宝山、佘山、浦东、崇明、金山、小洋山、临港和东滩。

各站 PM₁ 浓度的日变化分布表现为峰值类型和峰值时间不一；徐家汇、浦东为市区两个站点，呈现明显的双峰型分布，7—10 时为第一个峰值，18 时左右出现第二个峰值；宝山站为不明显双峰型，下午和夜间变化趋势平缓，6 时和 18 时左右为峰值，18 时以后出现高值平缓浓度曲线；佘山、金山、临港站表现为弱双峰型，特征为 8—14 时出现两个峰值；东滩为单峰型，9 时为峰值时间，夜间 22—23 时浓度小幅抬升；崇明为明显的单峰型特征，7 时出现峰值。

各站 PM₁₀ 三个主要粒径段的质量浓度比值均有一定的差异，其中东滩 PM₁ 比例最大，宝山最小，一定程度上反映出各地区污染物的种类来源差异。

上海春季 PM₁ 的浓度逆周末效应，很有可能是由于春季气象条件周期性影响。

参考文献

- 邓雪娇, 周秀骥, 吴 兑, 等. 2011. 珠江三角洲大气气溶胶对地面臭氧变化的影响 [J]. 中国科学: 地球科学, 41(1): 93—102. [Deng X J, Zhou X J, Wu D, et al. 2011. Effect of atmospheric aerosol on surface ozone variation over the Pearl River Delta region [J]. *Science China Earth Sciences*, 41(1): 93—102.]

段春峰, 缪启龙, 马 利, 等. 2012. 长江三角洲地区气温变化的周末效应 [J]. 长江流域资源与环境, 21(4): 482—488. [Duan C F, Miao Q L, Ma L, et al. 2012. Weekend effect of temperature variation in the Yangtze River Delta region [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 21(4): 482—488.]

龚道溢, 郭 栋, 罗 勇. 2006. 中国夏季日降水频次的周末效应 [J]. 气候变化研究进展, 2(3): 131—134. [Gong D Y, Guo D, Luo Y. 2006. Weekend effect of daily precipitation frequency in summer of China [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2(3): 131—134.]

国家环境保护总局. 2005. 环境空气质量自动监测技术规范: HJ/T193—2005 [S]. 北京: 中国标准出版社: 1. [State Environmental Protection Administration. 2005. Automated methods for ambient air quality monitoring: HJ/T193—2005 [S]. Beijing: China Standards Press: 1.]

韩 茜, 魏文寿, 刘明哲, 等. 2013. 气流输送对乌鲁木齐市 PM₁₀、PM_{2.5} 和 PM₁ 质量浓度的影响 [J]. 中国沙漠, 33(1): 223—230. [Han X, Wei W S, Liu M Z, et al. 2013. The Influences of airflow on the concentrations of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in Urumqi, Xinjiang, China [J]. *Journal of Desert Research*, 33(1): 223—230.]

胡 艳, 李青青. 2010. 上海地区海陆风系统对局地环流的影响 [C]// 中国气象学会. 第 27 届中国气象学会年会: 城市气象, 让生活更美好分会场论文集: 1—9. [Hu Y, Li Q Q. 2010. The effect of solar wind system on atmospheric circulation in Shanghai [C]// Chinese Meteorological Society. The 27th Chinese meteorological society annual meeting: city weather, better life at the venue: 1—9.]

雷 瑜, 张小玲, 唐宜西, 等. 2015. 北京城区 PM_{2.5} 及主要污染气体“周末效应”和“假日效应”研究 [J]. 环境科学学报, 35(5): 1520—1528. [Lei Y, Zhang X L, Tang Y X, et al. 2015. Holiday effects on PM_{2.5} and other major pollutants in Beijing [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 35(5): 1520—1528.]

孙 南. 2013. 常州市区空气 PM_{2.5} 污染分布和气象因素影响初探 [J]. 环境科学与管理, 38(10): 166—169. [Sun N. 2013. Study on PM_{2.5} distribution and meteorological factors in Changzhou [J]. *Environmental Science and Management*, 38(10): 166—169.]

肖秀珠, 刘鹏飞, 耿福海, 等. 2011. 上海市区和郊区黑碳气溶胶的观测对比 [J]. 应用气象学报, 22(2):

- 158–168. [Xiao X Z, Liu P F, Geng F H, et al. 2011. Comparison of black carbon aerosols in urban and suburban areas of Shanghai [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 22(2): 158–168.]
- 张小玲, 徐敬, 李腊平. 2008. 不同气象条件下烟花爆竹燃放对空气质量的影响研究 [J]. 气象与环境学报, 24(4): 6–12. [Zhang X L, Xu J, Li L P. 2008. Effect of fireworks burning on air quality under different meteorological conditions [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 24(4): 6–12.]
- 张晓勇, 吴建会, 徐虹, 等. 2012. 城市大气颗粒物背景值涵义及定值方法 [J]. 环境科学与管理, 37(1): 80–84. [Zhang X Y, Wu J H, Xu H, et al. 2012. Definition and determination of urban air particulates background value [J]. *Environmental Scinece and Management*, 37(1): 80–84.]
- 章志芹, 唐健, 汤剑平. 2008. 无锡空气污染指数、气象要素的周末效应 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 43(6): 643–654. [Zhang Z Q, Tang J, Tang J P. 2008. Weekend effect of urban air pollution index and meteorological elements: the case of Wuxi [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 43(6): 643–654.]
- 张芷言, 王宝民, 邓雪娇, 等. 2014. 广州地区PM₁质量浓度对能见度的影响以及气溶胶吸湿增长因子 [J]. 中国科学院大学学报, 3(3): 397–402. [Zhang Z Y, Wang B M, Deng X J, et al. 2014. Impact of PM₁ concentration on visibility and the aerosol hygroscopic growth factor in Guangzhou [J]. *Journal of Uviversity of Chinese Academy of Sciences*, 3(3): 397–402.]
- 赵辰航, 耿福海, 马承愚, 等. 2015. 上海地区光化学污染中气溶胶特征研究 [J]. 中国环境科学, 35(2): 356–363. [Zhao C H, Geng F H, Ma C Y, et al. 2015. Aerosol characteristics during photochemical pollution in Shanghai Area [J]. *China Environmental Science*, 35(2): 256–363.]
- Forster P M, Salomon S. 2003. Observations of a “weekend effect” in diurnal temperature range [J]. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20): 11225–11230.
- Jones A M, Yin J X, Harrison R M. 2008. The weekday-weekend difference and estimation of the non-vehicle contribution to the urban increment of airborne particulate matter [J]. *Atmospheric Environment*, 42(19): 4467–4479.
- Lough G C, Sehauer J J, Lawson D R. 2006. Day-of-week trends in carbonaceous aerosol composition in the urban atmosphere [J]. *Atmospheric Environment*, 40(22): 4137–4149.
- Motallebi N, Tran H, Croes B E, et al. 2003. Day-of-week patterns of particulate matter and its chemical components at selected sites in California [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(7): 876–888.